

補助事業番号 2017M-107

補助事業名 平成29年度 超硬金型の直彫りによる一貫製造を実現するための加工法開発に関する補助事業

補助事業者名 福井大学 学術研究院 工学系部門 機械工学講座 准教授 岡田将人

## 1 研究の概要

超硬合金製の切削工具表面にダイヤモンド製の薄膜をコーティングさせたダイヤモンドコーテッド超硬工具を用いて、超硬合金を切削する直彫り加工において、その切削特性を切削抵抗、工具刃先形態、仕上げ面性状から明らかにした。評価は、断続切削であるエンドミル加工と連続切削であるドリル加工の両者において実施した。加えて、直彫り加工により得られる仕上げ面品質を抗折力試験により、定量的に明らかにした。

## 2 研究の目的と背景

超硬合金は高い機械的強度を有することから、精密冷間鍛造や打ち抜きなどの負荷の大きな成形加工の金型材料として、今後、より重用されると予想されている。しかしながら、超硬合金は、高い機械的強度を有するために金型形状への加工が困難であり、主に放電加工が用いられる場合が多い。放電加工は、金型面としての仕上げ面粗さが劣り、なおかつ仕上げ面上にマイクロクラックを含む加工変質層が生成されることが多い。そのため、一般的に手作業による研磨処理によりこれらを除去し、最終的な金型面を創成している。これらの金型製造プロセスでは、放電加工の専用機が必要となること、作業者による手研磨品質の不安定化などが懸念され、より効率的な製造プロセスが求められている。

一方、これらの対策の一つとして、切削工具により超硬合金を形状加工する直彫り加工がある。既に多結晶ダイヤモンド(PCD)や窒化ホウ素(cBN)などの材料を用いた切削工具による実用例が報告されているが、これらの工具は極めて高価であり、なおかつ取り扱いが難しいことから、放電加工後の仕上げ工程への適用などに用途が限られており、前述した問題への対策としては、十分な普及に至っていない。

そこで本研究では、超硬合金製の切削工具表面にダイヤモンド製の薄膜を被覆したダイヤモンドコーテッド超硬工具による超硬合金の直彫り加工を実施する。ダイヤモンドコーテッド超硬工具は、母材が超硬合金であるためPCDやcBN工具よりも安価であり、ダイヤモンドコーティングの除膜技術が確立されれば、母材再利用による、さらなるコストメリットも期待できる。既に生産現場においては経験的に、極めて微小な工具送り条件下で実用的な工具寿命が得られることが報告されている。また、より高い切削性能の発現のために刃先を処理した刃先処理工具の開発も進んでいる。本研究では、これらの工具を対象として切削加工中に刃先で生じている現象を明らかにし、基礎的な切削特性を検討することともに、超硬合金直彫り加工への適用性を解明することを目的とする。

### 3 研究内容

#### 超硬金型の直彫りによる一貫製造を実現するための加工法開発

URL: [http://mech.u-fukui.ac.jp/~otsu/jka/JKA\\_2017\\_report.pdf](http://mech.u-fukui.ac.jp/~otsu/jka/JKA_2017_report.pdf)

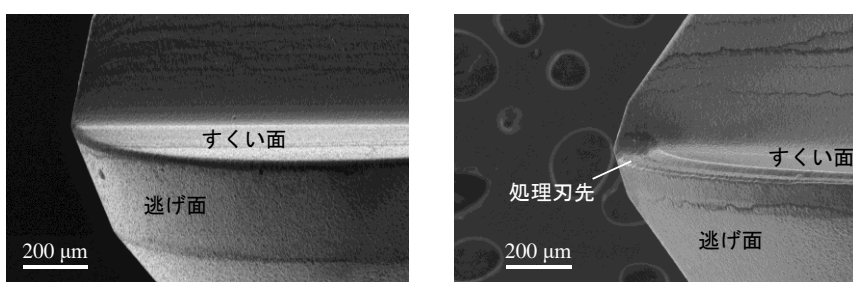
##### (1) エンドミル加工における刃先処理が切削特性に及ぼす影響の解明

はじめに、エンドミル加工において、ダイヤモンドコーテッド超硬工具の工具刃先を処理していない場合（以後、従来工具）と処理した場合（以後、処理工具）の切削特性について比較検討した。

図1(a), (b)に用いた従来工具と処理工具の未使用時の刃先SEM画像を示す。図より、従来工具は母材となる超硬合金製の工具に一定の膜厚でダイヤモンドをコーティングしているため、刃先の丸み半径が大きい。これに対し、処理工具は刃先すくい面上のコーティングが高精度に処理されており、その刃先の丸み半径は極めて小さく鋭利な形状を呈していることがわかる。

切削加工実験は圧電式3成分力センサ上に超硬合金製の板形状の被削材を固定し、これに対し溝加工を施した。加工中は加工部に向けて圧縮エアを供給し、切削油剤は用いなかった。表1に主な切削条件を示す。本工具では、微小な一刃あたりの送りにより、高い切削性能を発現するため、ダイヤモンドコーティングの膜厚20 $\mu\text{m}$ よりも十分に小さな5 $\mu\text{m}$ に設定した。

図2(a), (b)に切削距離25mm以下ならびに100mm時点における従来工具と刃先処理工具の切削抵抗をそれぞれ示す。図より、切削距離25mm以下では、従来工具の切削抵抗は、処理工具の場合と比較して明らかに大きい。これは、従来工具の刃先丸み半径が図1に示すように大きいことに起因する。なお、切削距離100mm時点では、 $x$ ,  $y$ 方向成分においては刃先処理工具と同程度の値を示した。図3に従来工具の切削距離100mm時点の刃先SEM画像を示す。図より、従来工具の刃先すくい面上のダイヤモンドコーティングが剥離し、逃げ面上に残存したダイヤモンドコーティングの稜線部に鋭利な刃先が発現していることがわかる。これにより、処理工具と同程度まで切削抵抗が減少したといえる。



(a)従来工具

(b)処理工具

図1 ダイヤモンドコーテッド超硬エンドミルの刃先画像

表1 実験条件

工具回転数	5000 rpm
一刃あたりの送り量	5 $\mu\text{m}/\text{tooth}$
軸方向切込み量	0.15 mm
潤滑方法	乾式（エアブロー）

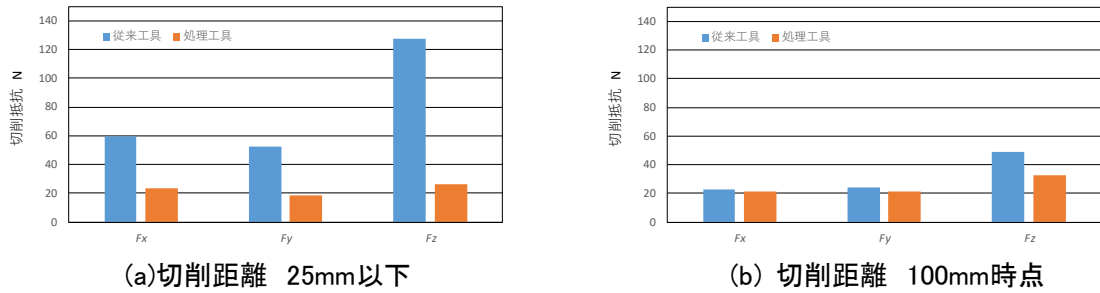


図2 両工具の切削抵抗比較

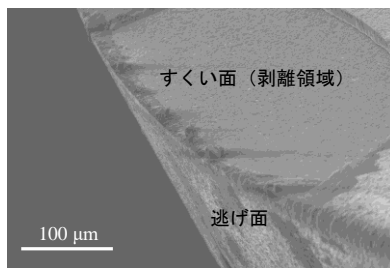


図3 すくい面上のコーティング剥離による鋭利刃の発現

(2)ドリル加工における基礎的な切削特性の調査

次に、断続切削であるエンドミル加工に対し、連続切削となるドリル加工について調査した。図4に未使用工具を用い1穴加工中のスラスト力波形を示す。図より、加工中に急激にスラスト力が減少する傾向が認められた。この出力傾向は10穴目程度まで認められた。図5に100穴加工後の工具刃先部のSEM画像を示す。図より、工具刃先コーナ部周辺のすくい面上のみにダイヤモンドコーティングの剥離領域が認められた。これより、連続切削であるドリル加工においても、断続切削であるエンドミル加工と同様に切削加工開始から間もない内に、すくい面上にコーティングの剥離が生じ、鋭利刃が発現することで切削抵抗が減少することがわかった。

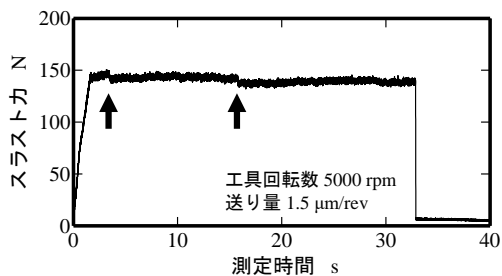


図4 1穴目加工中のスラスト力挙動

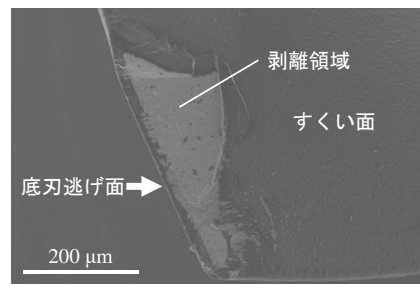


図5 ドリル刃先(100穴目)

### (3) 抗折力試験による仕上げ面品質の評価

最後に、本研究で取り扱ったダイヤモンドコーテッド超硬工具による仕上げ面の品質を定量的に評価した。評価には図6に示す抗折力試験を採用した。試験片下面を本研究で対象としたダイヤモンドコーテッド超硬エンドミル(刃先処理済み)を用いて仕上げた。また、比較評価のために、同様に試験片下面をワイヤ放電加工ならびにワイヤ放電加工後に機械研磨を施した試験片も対象とした。図7に3種類の試験片に対する抗折力試験結果を示す。図より、直彫り加工により仕上げた試験片が最も高い抗折力を示した。これにより、ダイヤモンドコーテッド超硬工具により得られる仕上げ面品質も良好であることを定量的に明らかにした。

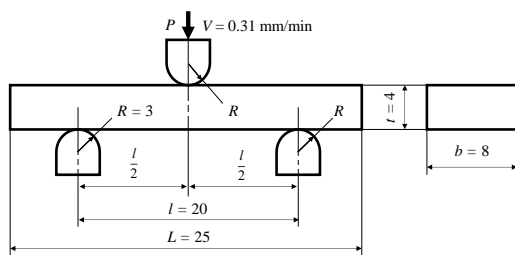


図4 1穴目加工中のスラスト力挙動

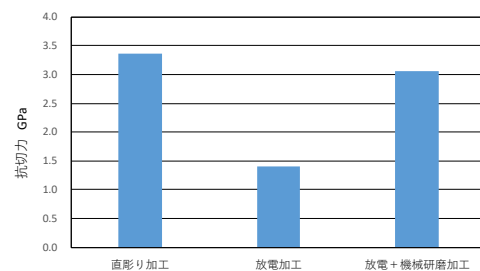


図5 ドリル刃先(100穴目)

## 4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

本研究では、超硬合金製の工具にダイヤモンド薄膜をコーティングしたダイヤモンドコーテッド超硬工具により超硬合金の直彫り加工が実用レベルで適用可能であることを、その切削機構を踏まえて明らかにした。超硬合金は極めて機械的強度の高い材料であり、高硬度鋼では成形精度、耐久性を満足することが難しい精密冷間鍛造や打ち抜き金型に対する新たな材料として今後普及が見込まれている。しかしながら、その普及の障壁となり得る要因に、高硬度に起因する難削性がある。本研究は、その超硬金型の形状創製を安価なダイヤモンドコーテッド超硬工具で実施可能であることを明らかにしたものである。金型技術は日本が世界に対して優位性を有する技術分野であり、その分野に対し、より高硬度な材料を、特段の経済的負担を強わずに加工できる提案ができた点で貢献できたと考える。

## 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

事業者はこれまでに、切削加工、塑性加工に関する研究に携わってきた。その中でも、近年は両分野において硬質薄膜のコーティング技術を工具に応用した研究課題に着目している。コーティング技術は、表面のみに母材と異なる特性を選択的に付加できる技術であり、現在も、様々な分野で適用範囲が拡大している技術である。事業者らも、表面平滑と改質を目指した微視的な塑性加工であるパニシング加工用工具にDLCコーテッド超硬工具を適用したり、CFRP材料の穴あけ工具に適したコーティング材質を検討したりなど、種々の関連した取り組みも別に進めている。本研究は、超硬母材にダイヤモンドをコーティングし、そのコーティング部のみが切削に関与するよ

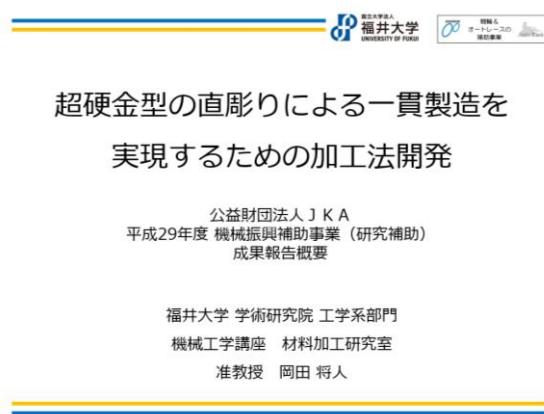
うに切削条件を付与することで、これまでにない工具性能を発現させる試みである。本成果は、切削加工の中でもコーティング技術に対するこれまでの知見を活用したことにより得られたと考えている。今後も、従来のコーティング技術の適用範囲に限らず、効果的な適用例を模索しながら取り組みたい。

## 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

1. 近藤淳行, 岡田将人, 渡邊英人, 三浦拓也, 大津雅亮, ダイヤモンドコーテッド超硬工具による超硬合金の直彫り加工における仕上げ面評価, 2017年度精密工学会北陸信越支部学術講演会講演論文集, pp. 1-2(電子データ), 2017.
2. Masato Okada, Reiji Suzuki, Atsuyuki Kondo, Hidehito Watanabe, Takuya Miura, Masaaki Otsu, Evaluation of finished surface of cemented carbide by direct cutting using diamond-coated carbide end mill, Procedia CIRP, Accepted.

## 7 補助事業に係る成果物

本事業により得られた成果の広範な社会還元を目的に、事業者所属の研究室ホームページ内に成果のまとめを公開した。



[http://mech.u-fukui.ac.jp/~otsu/jka/JKA\\_2017\\_report.pdf](http://mech.u-fukui.ac.jp/~otsu/jka/JKA_2017_report.pdf)

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 福井大学 学術研究院 工学系部門 機械工学講座  
(フクイダイガク ガクジュツケンキュウイン コウガクケイブモン  
キカイコウガクコウザ)

住 所: 〒910-8507  
福井県福井市文京3丁目9-1

担 当 者: 准教授 岡田将人 (オカダ マサト)

E - m a i l: okada\_m@u-fukui.ac.jp

U R L: <http://mech.u-fukui.ac.jp/~otsu/>